Government of Canada | Gouvernement du Canada
Canadian Forestry Service | Service canadien des forêts

Nitrogen fertilization of a sugar maple stand: behavior of various nitrogen fertilizers in the soil

A. Gonzalez and G. Hubert

Information Report LAU-X-65E

Laurentian Forest Research Centre

86-03181/

CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES

Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF). Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE

The Laurentian Forest Research Centre (LFRC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS). The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFRC work at solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Nitrogen fertilization of a sugar maple stand: behavior of various nitrogen fertilizers in the soil*

A. Gonzalez and G. Hubert

Information Report LAU-X-65E
1985

Laurentian Forest Research Centre
Canadian Forestry Service

---

* A summary of this study has been published under the title: "Fertilisation azotée d'une érablière à sucre: comportement de divers engrais azotés dans le sol " *in* Proceedings, Canadian Forestry Service, Hardwoods Management Workshop. PFES. September 1974.

Copies of this report are available free of charge from:
Laurentian Forest Research Centre
Canadian Forestry Service
1055, rue du P.E.P.S.
Sainte-Foy, Quebec
G1V 4C7

Catalog No. Fo46-18/65E
ISSN 0703-2196
ISBN 0-662-14098-2

© Minister of Supply and Services Canada, 1985

Cover photograph: Sugar bush, Seigneurie de Lotbinière
(Photo: Magella Gauthier)

Aussi disponible en français sous le titre: <<Fertilisation azotée d'une érablière à sucre: comportement de divers engrais azotés dans le sol>>.

TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT	iii
RÉSUMÉ	iii
INTRODUCTION	1
MATERIALS AND METHODS	2
RESULTS AND DISCUSSION	5
Total nitrogen	5
1. Effects of urea, ammonium sulphate, and ammonium nitrate	5
2. Effect of urea formaldehyde	6
Ammonium nitrogen	8
1. Effects of urea, ammonium sulphate, and ammonium nitrate	9
2. Effect of urea formaldehyde	9
Nitrate nitrogen	10
1. Effect of ammonium nitrate	10
2. Effects of the other fertilizers	15
CONCLUSION	15
ACKNOWLEDGMENTS	15
REFERENCES	16

List of Figures and Tables

Figure 1.	N_t derived from the various fertilizers: changes with time in the L and F horizons.	7
Figure 2.	$N\text{-}NH_4^+$ derived from the various fertilizers: changes with time in the soil profile.	11
Figure 3.	$N\text{-}NO_3^-$ derived from AN: changes with time in the soil profile.	14

Page

Table 1. Physical and chemical analyses of a representative soil profile in the Lotbinière forest 3

Table 2. Mean N_t contents (%) of the L and F plot horizons, before and after application of the various fertilizers 8

Table 3. Mean $N\text{-}NH_4^+$ contents (ppm) of the six plot horizons, before and after application of the various fertilizers 12

Table 4. Mean $N\text{-}NO_3^-$ contents (ppm) of the six plot horizons, before and after application of the various fertilizers 13

ABSTRACT

The objectives were to evaluate and compare the solubilization, transformation, fixation, and migration of nitrogen derived from various nitrogenous fertilizers (urea, urea-formaldehyde, ammonium nitrate, and ammonium sulfate) in a sugar maple stand. The soil was a humoferric podzol on sand with a forest floor of the moder type. Regardless of the fertilizer used, effects were measurable only the first three weeks after fertilization, except for urea-formaldehyde, which persists longer, but ceased to release ammonium ions. Urea was selected as the best fertilizer for the site.

RÉSUMÉ

On évalue et compare la solubilisation, la transformation, la fixation et la migration de l'azote provenant de divers engrais azotés (urée, urée-formaldéhyde, nitrate d'ammonium et sulfate d'ammonium) dans une érablière à sucre. Le sol est un podzol humo-ferrique sur sable et la couverture morte de type moder. Quel que soit l'engrais, l'effet de la fertilisation, en termes d'azote minéral, n'est décelable, au plus, que pendant les trois semaines qui suivent son application, sauf pour l'urée-formaldéhyde qui subsiste après cette période de temps mais qui ne libère plus d'ions ammonium. L'urée constitue finalement notre choix en vue de la fertilisation du site.

INTRODUCTION

Sugar maple (*Acer saccharum*, Marsh.) is one of the most important deciduous tree species in Quebec. The many products made from its sap form the basis for an industry which generates about $30 million annually and provides more than 3 000 Quebec families with seasonal work. Its wood is in demand by the furniture industry. In addition to being a source of livelihood for many, maple is undeniably a symbol deeply rooted in the Canadian heritage.

Therefore we took an interest in the nitrogen fertilization of sugar maples, several aspects of which were still unclear. Some authors reported either no effects (Danes and Ross 1973; Scott and Chamberland 1963) or negative effects (Stone and Christenson 1974), while others obtained positive results (Carmean and Watt 1975; Saffort 1973). The response of maples to nitrogen fertilization seems to be related to the foliar nitrogen concentration of unfertilized trees (Carmean and Watt 1975; Mader and Thompson 1969; Mitchell and Chandler 1939). In general, sugar maples will respond positively only when the N concentration in their leaves is less than 2.0 percent. Consequently, increased growth can be expected in sites having poor soil.

Before evaluating growth, we compared the behavior of various nitrogen fertilizers in the soil of a maple stand, to select the most suitable fertilizer for such sites. We studied fertilizer-soil interactions, and ignored the effects of the fertilizers on the vegetation. The fate of nutrients introduced into the forest ecosystem through fertilization has been the subject of speculation. Foliage has been analyzed to measure nitrogen absorption by trees, and the amount of nitrogen lost through volitilization of ammonium (Gasser 1964) and leaching (Cole and Gessel 1965; Overrein 1969) has been determined, but few studies have been done on the behavior and distribution of the nitrogen penetrating the soil profile.

The type of nitrogen fertilizer used has a marked effect on the behavior expected. Various forms of nitrogen have been recommended, depending on species and soil type. Fiedler and Weetman (1971) and Hauck (1968) reviewed the literature on this subject.

Because fertilization must be repeated on a yearly basis and discontinuation has negative effects on the physiological condition of stands, the current tendency is to use fertilizers that produce a lasting or even permanent effect after a single application. To slow down solubilization, fertilizers have been coated with a porous polyethylene (Attoe et al. 1970) or sulphur (Allen et al. 1968) film. Highly insoluble forms, such as oxamide (De Ment et al. 1961) and urea formaldehyde (Ellis), have also been used. Ellis and Althen (1973) used *in vitro* perfusion with water to evaluate the interactions between the calcareous A horizon from a sugar maple stand and various nitrogen fertilizers: urea, ammonium sulphate, and urea formaldehyde. They reported that one-third of the nitrogen derived from the urea formaldehyde was transformed into nitrate after nine days, and that this transformation occurred at a uniform rate throughout the experiment, while nitrogen derived from urea and ammonium sulphate was completely nitrified after ten days. They recommended urea formaldehyde since NO_3^- ions would be released gradually over an entire growing season. We selected this fertilizer as a source of low-solubility nitrogen, to be compared with more commonly used sources such as urea, ammonium sulphate, and ammonium nitrate.

MATERIALS AND METHODS

The pure sugar maple stand is in the Seigneurie de Lotbinière, 60 km east of Quebec City, and is currently used for producing maple syrup. This stand was once a mixed forest, but was cleared of conifers. It is part of section L-3 of Rowe's (1972) forestry map and zone ER7B(877) of the 1:20 000 forestry map of Portneuf (21 L/12 SW) prepared by the Quebec Department of Lands and Forests. The understory consists of Canada elder (*Sambucus canadensis*), striped maple (*Acer pennsylvanicum*), Canada yew (*Taxus canadensis*), shining clubmoss (*Lycopodium lucidulum*), ground-pine

Table 1. Physical and chemical analyses of a representative soil profile in the Lotbinière forest

Horizons	Thickness cm	Weight kg/plot	Munsell Color	pH H_2O	pH $CaCl_2$ 0.01M	Clay <0.002 mm %	Silt 0.002<-<0.02 %	Fine sand 0.02<-<0.25 %	Coarse sand 0.25<-<2.00 %
L	0.5	320	-	4.7	4.3	-	-	-	-
F	1.5	880	-	4.3	3.8	-	-	-	-
H-Ah	0.5	400	10YR3/1	4.1	3.5	-	-	-	-
Ae	2.5	2500*	10YR5/1	4.0	3.4	1	7	76	16
Bfh	3.0	3000*	10YR5/3	4.3	3.7	6	11	67	16
BC	9.0	10000*	10YR5/4	4.6	4.1	1	10	76	13

Horizons	OM	OC	N_t	C/N	$N\text{-}NH_4^+$	$N\text{-}NO_3^-$	Fe oxalate	Al oxalate	P available
		%	%		0/00	0/00	%	%	0/00
L	90.2	39.7	1.88	21.1	0.56	0.07	-	-	0.30
F	81.4	37.0	2.20	16.8	0.52	0.06	-	-	0.26
H-Ah	38.3	18.2	1.30	14.0	0.25	0.06	0.16	0.05	0.08
Ae	6.4	3.2	0.23	13.9	0.03	0.02	0.08	0.00	0.03
Bfh	8.7	3.5	0.24	14.6	0.03	0.01	1.11	0.49	0.02
BC	7.1	2.3	0.16	14.4	0.02	0.01	0.99	1.07	0.02

Horizons	Ca	Mg	K	Na	NH_4^+	Σcations	CEC	% Saturation
			mEq/100g					
L	65.8	11.0	4.1	0.8	3.2	84.9	197	43.1
F	33.3	5.6	2.0	0.8	3.0	44.7	175	25.5
H-Ah	8.5	2.0	0.7	0.5	1.4	13.1	73	18.0
Ae	1.5	0.5	0.1	0.1	0.2	2.4	14	17.1
Bfh	1.3	0.3	0.1	0.1	0.2	2.0	30	6.7
BC	0.7	0.2	0.1	0.1	0.1	1.2	27	4.4

* Approximate

(*Lycopodium obscurum*), wood fern (*Dryopteris spinulosa*), beaked hazelnut (*Corylus cornuta*), and hobble-bush (*Viburnum alnifolium*).

The soil, and orthic, humoferric podzol, is derived from a homogeneous, level, sandy alluvial terrace. The forest floor is of the moder type. The sequence of horizons (L, F, H-Ah, Ae, Bfh, and BC) is uniform throughout the study area. This soil is part of the An+S zone (a complex containing a mixture of loamy sand (Ste-Antoine series) and sand (Sorel series) on the 1:63 360 soil map for Lotbinière (Baril and Rochefort 1957). Table 1 shows the results of physical and chemical analyses of this soil.

The experimental design comprised four replicates of each of five treatments: urea (U), urea formaldehyde (UF), ammonium nitrate (AN), ammonium sulphate (AS), and the control (C). Thus, a total of twenty 100 m^2 plots were used. The fertilizers were applied manually at a rate of 300 kg N/ha, which corresponds to the following quantities per plot: 6.5 kg urea containing 46 percent N; 7.9 kg urea formaldehyde containing 38 percent N; 8.8 kg ammonium nitrate containing 34 percent N; and 15.0 kg ammonium sulphate containing 20 percent N.

The nitrogen fertilizers supplied only one-tenth of the total N present in the forest floor (horizons L, F, and H), but U, UF, and AS increased its $N\text{-}NH_4^+$ content five-fold and AN increased its $N\text{-}NO_3^-$ content sixteen-fold. However, out of a total cation exchange capacity (CEC) of 100 equivalents, the organic layer contained 29.1 equivalents of exchangeable cations, 1.7 of which were NH_4^+ ions; fertilization with U, UF, and AS added 8.7 equivalents of NH_4^+ ions (fertilization with AN added 4.3 equivalents), or approximately one-tenth of the total NH_4^+ ion exchange capacity of the organic layer (Table 1). The exchange capacity was not saturated.

Fertilizers were applied August 1, 1973; plots were sampled 2 days prior and 9, 23, 50, and 99 days and 1 year after fertilization. Each composite sample consisted of five sub-samples per horizon. For each sample, we measured total nitrogen (N_t), as well as nitrogen in the ammonium

($N\text{-}NH_4^+$) and nitrate ($N\text{-}NO_3^-$) forms (Bremmer and Shaw 1958). We also determined the percentage of moisture and organic matter (OM) by loss on ignition. Results have been reported as dry weights. We used the Duncan test to make inter-plot comparisons of the N_t, $N\text{-}NH_4^+$, and $N\text{-}NO_3^-$ contents of each horizon (Tables 2, 3, and 4).

We used three pluviometers to measure rainfall on the forest floor (after 9, 23, 50, and 99 days, rainfall was 32, 86, 242, and 383 mm respectively); on the 100th day, it began to snow. Generally, rainfall was proportional to the time expired since fertilization.

RESULTS AND DISCUSSION

Total nitrogen

Statistical analysis showed that before fertilization there were no significant differences in the N_t contents of plots, regardless of the horizon.

1. Effects of urea, ammonium sulphate, and ammonium nitrate

At the first sampling (nine days), the N_t contents of the L horizon of plots fertilized with U, AS, and AN were significantly different from the N_t content of the control, but were not significantly different from each other. At the second sampling (23 days), only the N_t content of the plot fertilized with U was significantly different from that of the control.

If the L horizon is assumed to weigh 329 kg per plot, it contained only 30, 24, and 20 percent nitrogen derived from U, AN, and AS respectively after 9 days, and only 18, 10, and 4 percent nitrogen from U, AS, and AN respectively after 23 days.

Throughout the experiment, fertilization with U, AN, and AS did not increase the N_t contents of the F, H, Ae, Bfh, and BC horizons because

the amount of N added was low compared with the initial N content of the soil, thereby resulting in changes that were not significant.

2. Effect of urea formaldehyde

In the L horizon, N_t content of plots fertilized with UF remained significantly different throughout the experiment, in comparison with N_t content of control and other treatments. Sixty-two percent of the UF remained undissolved after 9 days and 50 percent remained after 23 days. These figures were lower than the real values since particles of undissolved fertilizer were lost during sampling.

In the F horizon, the increase in N_t content become significant with the third sampling (50 days). Mechanical percolation of undissolved UF particles through the L horizon explains this increase. After one year, N_t content of the F horizon (which included the L horizon of the preceding year) was 2.6 percent, compared with 2.3 percent for the control. If the weight of the F horizon is assumed to be 880 kg per plot, the difference in N_t content corresponded to 2.38 kg N, or 79 percent of the fertilizer applied.

An *in vitro* experiment showed that when UF came into contact with water, 25 percent of it dissolved instantly and the rest remained practically insoluble. A further 5 percent of the particles could be dissolved by agitating them in water for a week. An analysis of particles remaining in the F horizon after one year showed that they were particles of undissolved fertilizer, still containing 37 percent N, rather than the residue of solubilization.

Figure 1 shows changes in the mean N_t contents of the L and F horizons of fertilized plots after the mean N_t contents of these horizons in the control plots were subtracted. The results of the Duncan test are provided in Table 2.

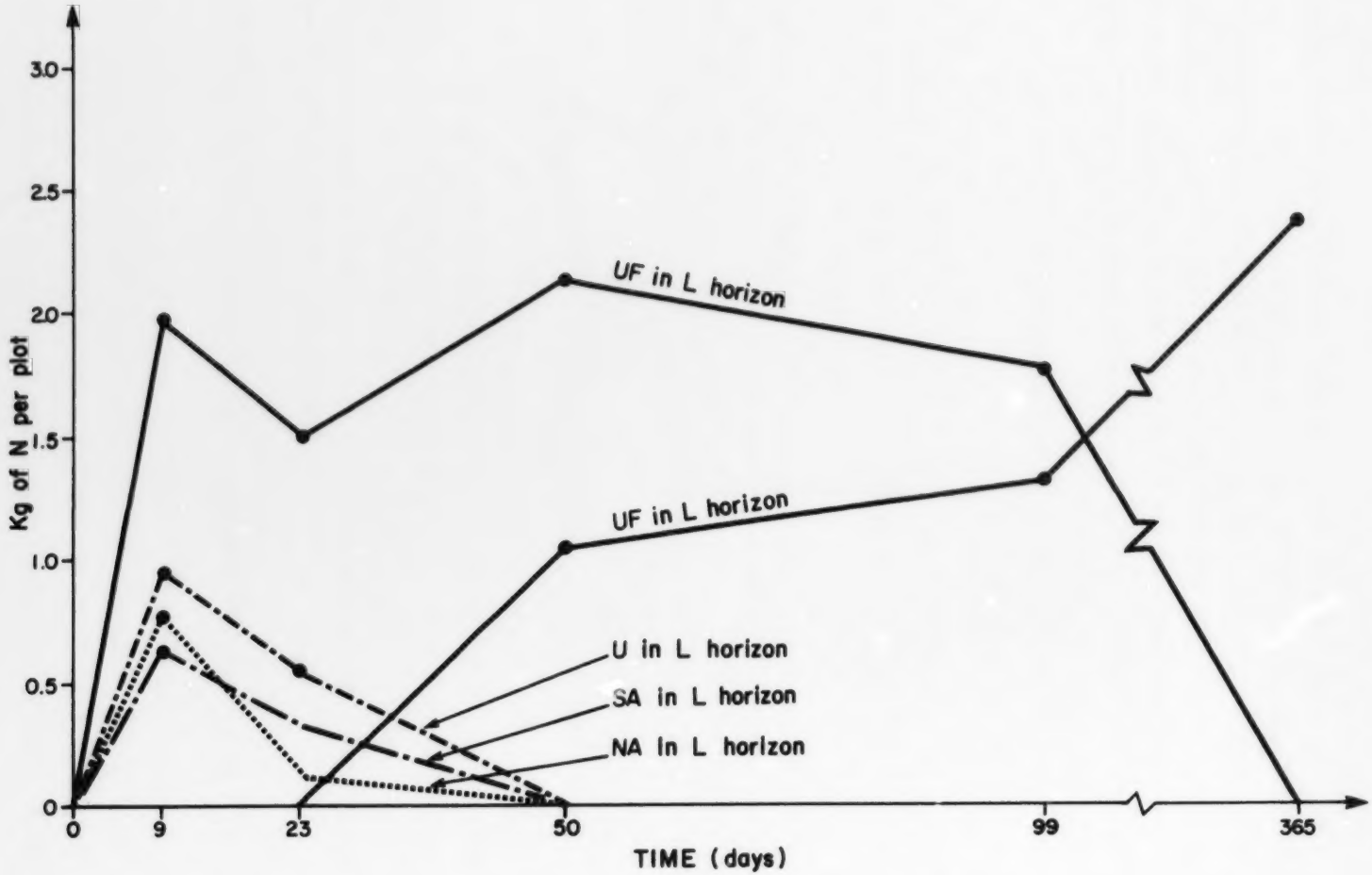

Figure 1. N_t derived from the various fertilizers: changes with time in the L and F horizons.

Table 2. Mean N_t contents (%) of the L and F plot horizons, before and after application of the various fertilizers

	Before fertilization	After fertilization: 9 days	23 days	50 days	99 days	1 year
L	AN 1.85	T 1.98	T 2.03	AN 2.11	AN 2.12	AN 1.96
	U 1.86	AS 2.18	AN 2.07	U 2.11	C 2.15	U 1.96
	AS 1.86	AN 2.22	AS 2.13	C 2.12	AS 2.15	C 1.98
	C 1.88	U* 2.28	U 2.20	AS 2.16	U 2.20	UF 1.98
	UF 1.95	UF* 2.60	UF* 2.50	UF* 2.79	UF* 2.71	AS 2.03
F	AS 2.14	C 2.32	AS 2.22	AN 2.21	U 2.27	AS 2.28
	U 2.18	AS 2.35	C 2.23	AS 2.28	AN 2.28	U 2.30
	C 2.21	U 2.37	U 2.26	U 2.30	AS 2.33	AN 2.31
	AN 2.21	UF 2.39	AN 2.29	C 2.30	C 2.35	C 2.36
	UF 2.25	AN 2.40	UF 2.31	UF* 2.42	UF 2.50	UF* 2.63

* Significant at 99% when compared with the control.

(Two means not linked by a given line are significantly different at 95%).

Ammonium nitrogen

Statistical analysis showed that before fertilization there were no significant differences in the $N\text{-}NH_4^+$ contents of the plots, regardless of the horizon considered.

1. Effects of urea, ammonium sulphate, and ammonium nitrate

At the first sampling (9 days), these three fertilizers had produced significant increases (when compared with the control) in the $N\text{-}NH_4^+$ contents of all horizons, except for U in the H horizon. However, there were no significant differences among the treatments, except for U and AS, which produced the highest levels in the L and Bh horizons respectively.

At the second sampling (23 days), only U was continuing to produce a significant increase in the $N\text{-}NH_4^+$ content of all horizons when compared with the control, and a significantly higher $N\text{-}NH_4^+$ content in the L horizon in comparison with the other treatments. When compared with the control, AS had a significant effect on the L, Ae, and BC horizons, and AN had significant effect on the L horizon only.

At the third sampling (50 days), only U was having a slightly significant effect on the Ae horizon, and AS on the Ae and Bh horizons. Later (after 99 days and 1 year), no significant differences were detected between any treatments and the control, regardless of the horizon.

2. Effect of urea formaldehyde

For all sampling dates and horizons, UF did not increase the $N\text{-}NH_4^+$ content significantly, even though on the ninth day the mean $N\text{-}NH_4^+$ content of the L horizon of plots fertilized with UF was double that of the control plots. If we consider only the contents that were significantly different from the control, the amounts of $N\text{-}NH_4^+$ remaining in the organic layer were: after nine days, the amount derived from U and AS remained unchanged at 48 percent (3 kg) (but was distributed differently among the L, F, and H horizons), and the amount derived from AN measured 83 percent (1.5 kg); after 23 days, 22, 5, and 8 percent remained from U, AS, and AN respectively; after 50 days, none remained.

Amounts of $N\text{-}NH_4^+$ remaining in the mineral layer were: after 9 days, 20 percent derived from U, 30 percent from AS and 44 percent from AN; after 23 days, 11 percent from U, 9 percent from AS and 0 percent from AN; and after 50 days, 1 percent from U, 2 percent from AS and 0 percent from AN.

Figure 2 shows changes in the mean $N\text{-}NH_4^+$ contents of fertilized plots after the mean $N\text{-}NH_4^+$ contents of the control plots were subtracted, for the first three samplings. The results of the Duncan test appear in Table 3.

The percentages obtained for AN must be treated with caution. It is difficult to compare AN with the other fertilizers because, for a given weight of total N, AN yields only half of the NH_4^+ ions released by the other fertilizers.

Because almost all of the exchange capacity of the soil in our study was linked to the amount of OM, the $N\text{-}NH_4^+$ was fixed primarily by OM. Consequently, to reduce errors introduced by the sampling method, we converted the $N\text{-}NH_4^+$ content, first determined as a percentage of dry soil, into a percentage of OM. We then performed the Duncan test on the converted results, but did not obtain any significant differences. For this reason, the results obtained have not been included in this publication.

Nitrate nitrogen

A statistical analysis showed that before fertilization there were no significant differences in the $N\text{-}NO_3^-$ contents of plots, regardless of the horizon considered.

1. Effect of ammonium nitrate

Nine days after fertilization, the level of NO_3^- ions derived from AN peaked and was significantly different in all horizons from the levels recorded for the other treatments. This level remained significantly higher than that of the control in all horizons after 23 days and in the F, Bfh, and BC horizons after 50 days.

We found that 39, 10, and 2 percent of $N\text{-}NO_3^-$ derived from AN remained in the organic layer after 9, 23, and 50 days respectively. Figure 3 shows the distribution of $N\text{-}NO_3^-$ derived from AN at the time of first three samples; the results of the Duncan test appear in Table 4.

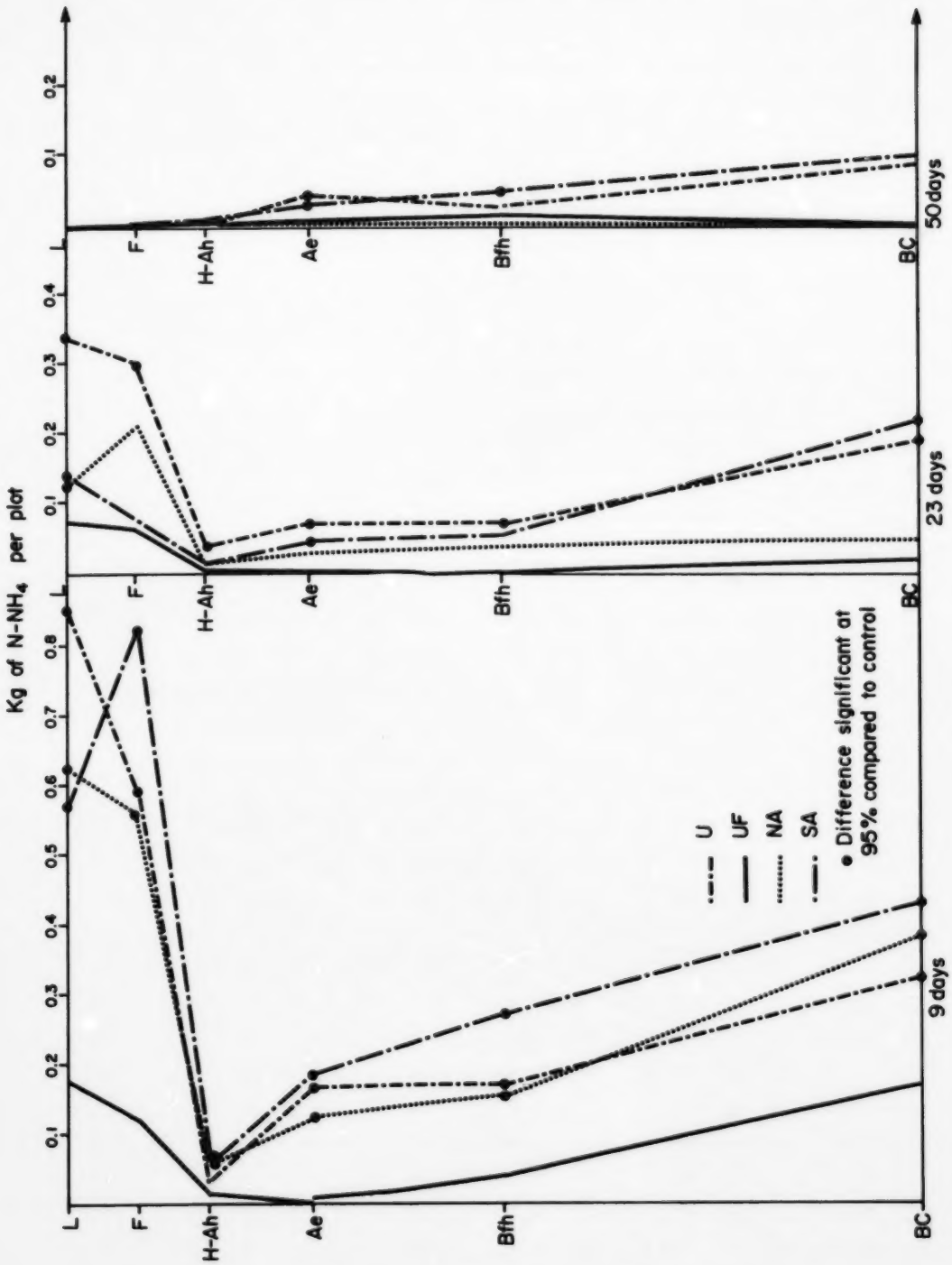

Figure 2. $N\text{-}NH_4^+$ derived from the various fertilizers: changes with time in the soil profile.

Table 3. Mean $N\text{-}NH_4^+$ contents (ppm) of the six plot horizons, before and after application of the various fertilizers

	Before fertilization	After fertilization: 9 days	23 days	50 days	99 days
L	AN 550	C 530	C 412	AN 550	
	UF 558	UF 1075	UF 628	AS 560	
	C 560	AS* 2300	AN 800	C 562	
	U 570	AN* 2465	AS 838	UF 562	
	AS 570	U* 3182	U* 1450	U 640	
F	AN 470	C 515	C 282	AN 332	
	U 490	UF 650	UF 350	C 335	
	C 530	AN 1148	AS 368	UF 340	
	AS 542	U* 1188	AN 520	U 390	
	UF 555	AS* 1450	U 620	AS 398	
H	AS 212	C 142	UF 118	AN 95	AN 102
	AN 225	UF 172	C 132	U 118	U 110
	C 262	U 210	AN 160	UF 118	UF 110
	U 268	AS 280	AS 160	C 128	C 122
	UF 278	AN 298	U 220	AS 145	AS 132
Ae	AS 27	C 42	C 25	C 25	UF 17
	C 31	UF 43	UF 26	AN 26	C 18
	U 34	AN* 91	AN 36	UF 27	AS 21
	AN 36	U* 108	AS 43	AS 37	AN 25
	UF 37	AS* 116	U* 52	U* 42	U 28
Bfh	AN 26	C 33	UF 31	UF 20	UF 48
	UF 27	UF 46	C 34	C 24	C 55
	AS 30	AN* 84	AN 46	AN 29	AN 69
	C 30	U* 30	AS 52	U 32	AS 74
	U 37	AS* 123	U 57	AS 40	U 76
BC	AN 19	C 32	C 20	UF 18	U 20
	AS 20	UF 49	UF 23	C 24	UF 25
	UF 21	U 59	AN 25	AN 24	C 26
	U 24	AN* 70	U 39	U 33	AN 27
	C 24	AS* 75	AS* 42	AS 34	AS 30

* Significant at 99% when compared with the control.

(Two means not linked by a given line are significantly different at 95%).

Table 4. Mean $N\text{-}NO_3^-$ contents (ppm) of the six plot horizons, before and after application of the various fertilizers

	Before fertilization	After fertilization: 9 days	23 days	50 days	99 days
L	C 58	AS 65	C 47	UF 50	
	AS 65	C 66	AS 63	AN 55	
	AN 67	U 67	UF 64	U 61	
	UF 68	UF 79	U* 120	AS 65	
	U 72	AN* 507	AN* 131	C 68	
F	UF 51	C 64	UF 40	C 39	AN 51
	C 58	UF 72	C 42	UF 48	U 51
	AS 59	AS 77	AS 49	AS 63	C 59
	U 67	U 94	U* 103	AN 69	UF 61
	AN 69	AN* 509	AN* 165	U* 81	AS 61
H	AS 49	AS 30	UF 48	C 31	C 35
	UF 53	C 35	C 51	UF 35	AS 38
	C 54	UF 48	AS 67	AS 43	UF 38
	U 65	U 58	U 87	AN 46	AN 43
	AN 71	AN* 187	AN 105	U 51	U 46
Ae	C 11	C 16	UF 21	UF 13	
	U 15	AS 17	C 24	C 18	
	AN 16	U 20	AS 25	AS 18	
	AS 16	UF 21	U 29	U 20	
	UF 21	AN* 45	AN 36	AN 20	
Bfh	UF 11	UF 11	C 16	AS 11	AN 19
	AS 12	AS 7	AS 22	C 12	AS 19
	C 15	C 7	U 23	U 16	UF 21
	AN 15	U 10	UF 24	UF 17	C 24
	U 18	AN* 88	AN* 55	AN* 20	U 30
BC	AS 10	UF 13	C 12	UF 10	C 13
	AN 12	C 14	UF 12	C 13	UF 14
	UF 14	U 15	U 15	AS 13	U 19
	U 15	AS 18	AS 15	U 17	AN 20
	C 17	AN* 81	AN* 39	AN 23	AS 20

* Significant at 99% when compared with the control.

(Two means not linked by a given line are significantly different).

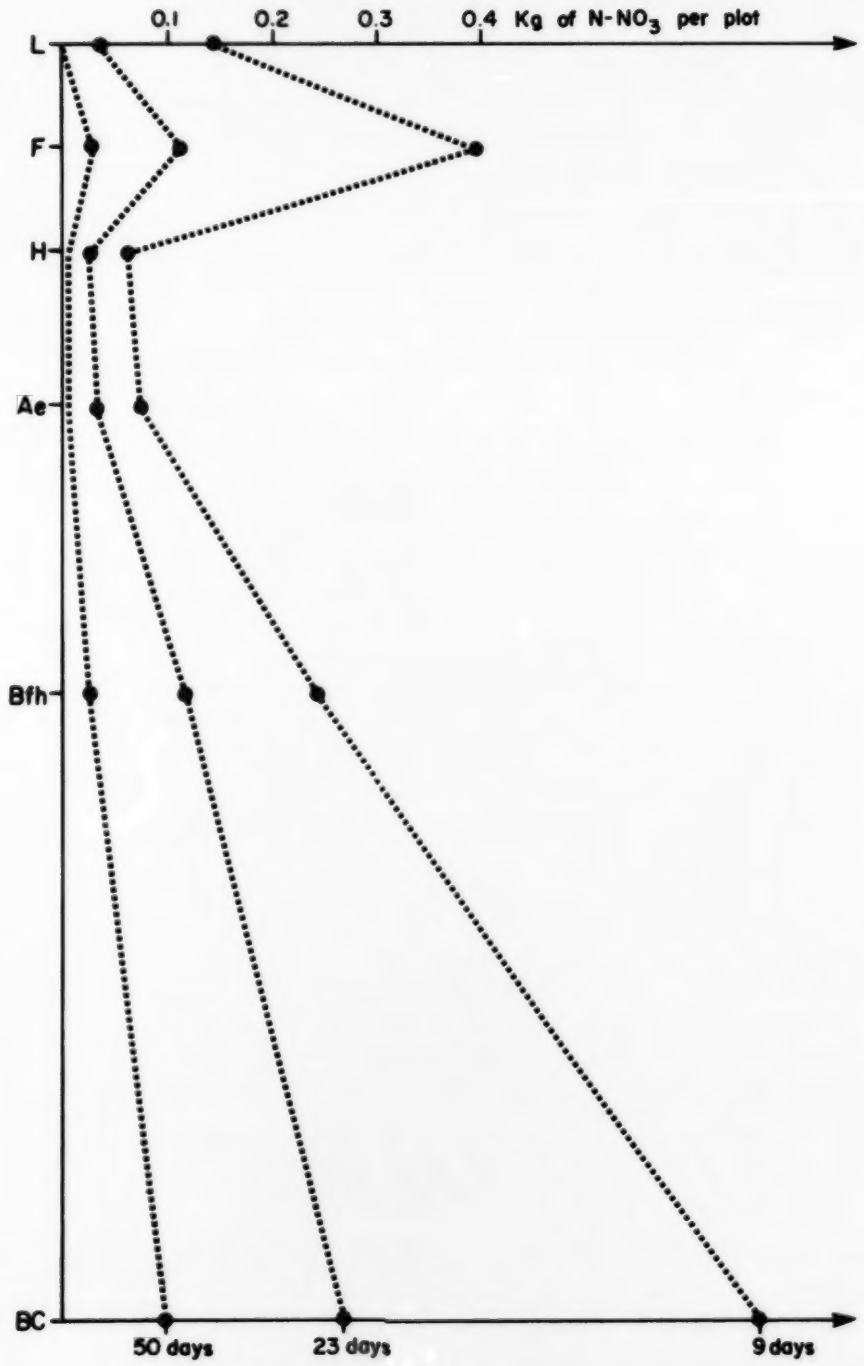

Figure 3. $N\text{-}NO_3^-$ derived from AN: changes with time in the soil profile.

2. Effects of the other fertilizers

Nitrogen derived from U was detected in the L and F horizons 23 days after fertilization and in the F and H horizons 50 days after.

CONCLUSION

The fugacity of nitrogen fertilizers is of particular interest. Fertilization with U, AS, and An affected the total nitrogen in the L horizon only and its effect was detectable during the first three weeks after fertilization. However, N_t content of the same horizon in plots fertilized with UF remained high throughout the experiment. One hundred millimetres of rain fell during these first three weeks.

With only 30 mm of rain, $N\text{-}NH_4^+$ levels for each fertilizer and each horizon peaked nine days after fertilization. Ammonium sulphate and ammonium nitrate, which release NH_4^+ ions as they dissolve, proved the most mobile. However, urea, which must undergo a transformation before releasing its NH_4^+ ions, had a slightly delayed effect and is our choice as the best fertilizer for the site. Urea formaldehyde released fewer NH_4^+ ions than the other three fertilizers, but did so as quickly as the others. Although after three weeks the N_t content of the L horizon remained high, no additional NH_4^+ ions were released.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank Mr. R. Turcotte and Mr. M. Gauthier for their technical assistance, and Mr. A. Lauzé for making facilities available to us while we conducted the experiment. We also extend our sincere thanks to Mr. M. Roberge and especially Mr. B. Bernier for their comments and their corrections to this manuscript.

REFERENCES

Allen, S.E.; Mays, D.A.; Terman, G.L. 1968. Sulfur-coated urea: an effective slow-release nitrogen fertilizer. Crops Soils 21:13-15.

Attoe, O.J.; Rasson, F.L.; Boyle, J.R. 1970. Fertilizer release from packets and its effect on tree growth. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 137-142.

Baril, R.; Rochefort, B. 1957. Étude pédologique du Comté de Lotbinière. P.Q. Serv. Ferm. Exp. Ottawa, Ont.

Bremmer, J.M.; Shaw, K. 1958. Denitrification in soil I. Methods of investigation. J. Agri. Sci. 51:22.

Carmean, W.H.; Watt, R.F. 1975. Response of a pole-size maple stand to fertilization. Pages 417-433 *in* B. Bernier and C.H. Winget, eds. Forest Soils and Forest Land Management. Proc. Fourth N.A. Forest Soils Conf., Les Presses Univ. Laval.

Cole, D.; Gessel, S. 1965. Movement of elements through a forest soil as influenced by the tree removal and fertilizers additions. Pages 95-104 *in* C. Youngberg ed. Forest-Soil Relationship in North America, Oregon State University Press.

Danes, A.E.; Roos, O. 1973. Effects of fertilizer application in a sugar maple grove. Ontario Ministry of Natural Resources. Forest Management Branch.

De Ment, J.D.; Hunt, C.M.; Stanford, G. 1961. Hydrolysis, nitrification and nitrogen availability of examide as influenced by granule size. J. Agric. Food Chem. 9:453-456.

Ellis, R.C.; Althen, F.W. 1973. Fertilization of adult and juvenile hardwoods in Ontario. Pages 174-187 *in* Forest Fertilization. Symp. Proc. -USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-3.

Fiedler, F.J.; Weetman, G.F. 1971. Losses of nitrogen from surface applied urea and other factors of season of fertilizer application on growth response. Paper prepared for Forest Fertilization Working Group, Section 21, I.V.F.R.O., University of Florida.

Gasser, J.K. 1964. Some factors affecting losses of ammonia from urea and ammonium sulphate applied to soils. J. Soil Sci. 15:258-272.

Hauck, R.D. 1968. Nitrogen Source requirements in different soil - Plant systems. Pages 47-57 *in* Forest Fertilization, Theory and Practice Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, AL.

Mader, D.L.; Thompson, B.W. 1969. Foliar and Soil nutrients in relation to sugar maple decline. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33:794-800.

Mitchell, H.L.; Chandler, R.F. 1939. The nitrogen nutrition and growth of certain deciduous trees of northeastern United States. Black Rock For. Bull. 11.

Overrein, L.N. 1969. Lysimeter studies on tracer nitrogen in forest soil: II. comparative losses of nitrogen through leaching and volatilization after the addition of urea-, ammonium - and nitrate - N^{15}. Soil Sci. 107:149-159.

Rowe, J.S. 1972. Forest Regions of Canada. Dep. Environ. Can. For. Serv. Publ. N° 1300. Ottawa, Ont.

Safford, L.O. 1973. Fertilization increases diameter growth of birch-beech-maple trees in New Hampshire. USDA For. Serv. Res. Note NE-182.

Scott, A.; Chamberland, E. 1963. Essai de fertilisation des érables à sucre. Rev. Coop. Agron. Qué. Agriculture 20:88-91.

Stone, D.M.; Christenson, D.R. 1974. Fertilizing and thinning maple poles: preliminary results. USDA For. Serv. Res. Note NC-158.

Gouvernement du Canada
Government of Canada

Service canadien des forêts
Canadian Forestry Service

Fertilisation azotée d'une érablière à sucre: comportement de divers engrais azotés dans le sol

A. Gonzalez et G. Hubert

Rapport d'information LAU-X-65

Centre de recherches forestières des Laurentides

CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES

Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF). Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE

The Laurentian Forest Research Centre (LFRC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS). The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFRC work at solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Fertilisation azotée d'une érablière à sucre: comportement de divers engrais azotés dans le sol*

A. Gonzalez et G. Hubert

Rapport d'information LAU-X-65
1985

Centre de recherches forestières des Laurentides
Service canadien des forêts

---

* Un résumé de ce travail a été publié sous le même titre dans le Proceedings Canadian Forestry Service Hardwoods Management Workshop. PFES. September 1974.

Des exemplaires vous sont offerts gratuitement au:
Centre de recherches forestières des Laurentides
Service canadien des forêts
1055, rue du P.E.P.S.
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

N° de catalogue Fo46-18/65F
ISSN 0703-2196
ISBN 0-662-93278-1

© Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1985

Photo couverture: Une érablière à sucre, Seigneurie de Lotbinière
(Photo: Magella Gauthier)

Also available in English under the title: "Nitrogen fertilization of a sugar maple stand: behavior of various nitrogen fertilizers in the soil"

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	
ABSTRACT	
INTRODUCTION	1
MATÉRIEL ET MÉTHODES	2
RÉSULTATS ET DISCUSSION	5
Azote total	5
1. Action de l'urée, du sulfate et du nitrate d'ammonium	5
2. Action de l'urée-formaldéhyde	6
Azote ammoniacal	9
1. Action de l'urée, du sulfate et du nitrate d'ammonium	9
2. Action de l'urée-formaldéhyde	9
Azote nitrique	10
1. Action du nitrate d'ammonium	10
2. Action des autres engrais	13
CONCLUSION	16
REMERCIEMENTS	16
BIBLIOGRAPHIE	17

Liste des figures et tableaux

Figure 1.	Variations avec le temps de N_t apporté par les divers engrais dans les horizons L et F.	7
Figure 2.	Variations avec le temps de $N\text{-}NH_4^+$ apporté par les divers engrais au sein du profil.	12
Figure 3.	Variations avec le temps de $N\text{-}NO_3^-$ apporté par NA au sein du profil.	15

Page

Tableau 1. Analyses physiques et chimiques d'un profil moyen de sol de la forêt de Lotbinière 3

Tableau 2. Teneurs moyennes de N_t (%) des horizons L et F des parcelles, avant et après fertilisation avec les divers engrais 8

Tableau 3. Teneurs moyennes de $N\text{-}NH_4^+$ (ppm) des six horizons des parcelles, avant et après fertilisation avec les divers engrais 11

Tableau 4. Teneurs moyennes de $N\text{-}NO_3^-$ (ppm) des six horizons des parcelles, avant et après fertilisation avec les divers engrais 14

RÉSUMÉ

On évalue et compare la solubilisation, la transformation, la fixation et la migration de l'azote provenant de divers engrais azotés (urée, urée-formaldéhyde, nitrate d'ammonium et sulfate d'ammonium) dans une érablière à sucre. Le sol est un podzol humo-ferrique sur sable et la couverture morte de type moder. Quel que soit l'engrais, l'effet de la fertilisation, en termes d'azote minéral, n'est décelable, au plus, que pendant les trois semaines qui suivent son application, sauf pour l'urée-formaldéhyde qui subsiste après cette période de temps mais qui ne libère plus d'ions ammonium. L'urée constitue finalement notre choix en vue de la fertilisation du site.

ABSTRACT

The objectives were to evaluate and compare the solubilization, transformation, fixation, and migration of nitrogen derived from various nitrogenous fertilizers (urea, urea-formaldehyde, ammonium nitrate, and ammonium sulfate) in a sugar maple stand. The soil was a humoferric podzol on sand with a forest floor of the moder type. Regardless of the fertilizer used, effects were measurable only the first three weeks after fertilization, except for urea-formaldehyde, which persists longer, but ceased to release ammonium ions. Urea was selected as the best fertilizer for the site.

INTRODUCTION

Parmi les essences feuillues du Québec, l'érable à sucre (*Acer saccharum*, Marsh.) occupe une place de premier ordre et ceci à plusieurs égards: d'abord, les nombreux produits issus de la sève sont à la base d'une industrie qui génère environ 30 millions de dollars annuellement, fournissant en même temps du travail saisonnier à plus de 3 000 familles québécoises; aussi, son bois est très recherché par l'industrie du meuble. En plus d'être le gagne-pain d'un nombre considérable de gens, l'érable est indéniablement un symbole et un patrimoine fortement enracinés dans les traditions canadiennes.

Nous nous sommes donc intéressés à la fertilisation azotée de l'érable à sucre dont plusieurs aspects sont encore mal connus. Certains auteurs rapportent des effets nuls (Danes et Ross, 1973; Scott et Chamberland, 1963) ou dépressifs (Stone et Christenson, 1974), d'autres des effets positifs (Carmean et Watt, 1975; Safford, 1973). La réponse des érables à la fertilisation azotée semble reliée à la concentration foliaire en N des arbres non fertilisés (Carmean et Watt, 1975; Mader et Thompson, 1969; Mitchell et Chandler, 1939). En général, l'érable à sucre ne répondrait d'une façon positive que lorsque la concentration en N des feuilles serait inférieure à 2,0 %. Sur site pauvre, on peut donc prévoir une augmentation de croissance.

Avant d'évaluer une telle croissance, nous avons voulu comparer le comportement de divers engrais azotés dans le sol d'une érablière, afin de choisir celui qui semblait le plus adapté à une telle station. Nous nous sommes donc proposé d'étudier l'interaction engrais-sol et de laisser de côté l'action des engrais sur la végétation. On s'est souvent demandé quel était le sort des éléments nutritifs apportés par la fertilisation dans les écosystèmes forestiers. En ce qui concerne l'azote, on a évalué l'absorption par les arbres au moyen de l'analyse foliaire, ainsi que les pertes par volatilisation ammoniacale (Gasser, 1964) et par lessivage (Cole et Gessel, 1965; Overrein, 1969), mais on a peu étudié le comportement et la répartition de l'azote apporté à l'intérieur même du profil.

Le type d'engrais azoté est capital en fonction du comportement escompté. Diverses formes d'azote sont préconisées selon les espèces fertilisées et la nature du sol. Des revues de littérature ont été faites à ce sujet (Fiedler et Weetman, 1971; Hauck, 1968).

La nécessité de répéter la fertilisation par cycles annuels, ainsi que l'effet négatif qu'elle a sur les conditions physiologiques du peuplement après interruption, font qu'on tend maintenant à concentrer les efforts de fertilisation sur les éléments pour lesquels une seule application a un effet durable et même permanent. Ainsi, pour ralentir la solubilisation, on a enrobé les engrais d'un film de polyéthylène poreux (Attoe *et al.*, 1970), ou de soufre (Allen *et al.*, 1968) ou utilisé des formes peu solubles comme l'oxamide (De Ment *et al.*, 1961) et l'urée-formaldéhyde (Ellis). Utilisant la méthode de perfusion avec de l'eau *in vitro*, Ellis et Althen (1973) évaluent l'interaction entre un horizon A calcaire provenant d'une érablière à sucre et divers engrais azotés: urée, sulfate d'ammonium, urée-formaldéhyde. Ils rapportent qu'après 9 semaines, un tiers de l'azote apporté par l'urée-formaldéhyde a été converti en nitrate et cela à un taux uniforme pendant toute la durée de l'expérience, tandis que l'azote apporté par l'urée et le sulfate d'ammonium est totalement nitrifié au bout de 10 jours. Ils préconisent donc l'emploi de l'urée-formaldéhyde susceptible de fournir graduellement des ions NO_3^-, pendant toute une saison de croissance. C'est pourquoi nous avons choisi cet engrais comme source peu soluble d'azote, à côté des sources traditionnelles comme l'urée, le sulfate d'ammonium et le nitrate d'ammonium.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le dispositif expérimental a été installé dans la Seigneurie de Lotbinière, à 40 milles à l'est de Québec, à l'intérieur d'un peuplement pur d'érable à sucre actuellement exploité pour la production de sirop. Ce peuplement, autrefois mixte, a été éclairci par coupe des résineux. Il fait partie de section L-3 de la carte forestière de Rowe (1972); il entre aussi dans la zone ER7B(877) de la carte forestière au 1/20 000 de Portneuf

Tableau 1. Analyses physiques et chimiques d'un profil moyen de sol de la forêt de Lotbinière

Horizons	Épaisseur cm	Poids kg/parcelle	Couleur Munsell	pH H_2O	pH $CaCl_2$ 0,01M	Argile <0,002 mm %	Limon 0,002<-<0,02 %	Sable fin 0,02<-<0,25 %	Sable grossier 0,25<-<2,00 %
L	0,5	320	-	4,7	4,3	-	-	-	-
F	1,5	880	-	4,3	3,8	-	-	-	-
H-Ah	0,5	400	10YR3/1	4,1	3,5	-	-	-	-
Ae	2,5	2500*	10YR5/1	4,0	3,4	1	7	76	16
Bfh	3,0	3000*	10YR5/3	4,3	3,7	6	11	67	16
BC	9,0	10000*	10YR5/4	4,6	4,1	1	10	76	13

Horizons	M.O.	C.O. %	N_t %	C/N	$N\text{-}NH_4^+$ 0/00	$N\text{-}NO_3^-$ 0/00	Fe oxalate %	Al oxalate %	$P_{assim.}$ 0/00
L	90,2	39,7	1,88	21,1	0,56	0,07	-	-	0,30
F	81,4	37,0	2,20	16,8	0,52	0,06	-	-	0,26
H-Ah	38,3	18,2	1,30	14,0	0,25	0,06	0,16	0,05	0,08
Ae	6,4	3,2	0,23	13,9	0,03	0,02	0,08	0,00	0,03
Bfh	8,7	3,5	0,24	14,6	0,03	0,01	1,11	0,49	0,02
BC	7,1	2,3	0,16	14,4	0,02	0,01	0,99	1,07	0,02

Horizons	Ca	Mg	K	Na	NH_4^+	Σcations	C.E.C.	% Sat.
			méq/100g					
L	65,8	11,0	4,1	0,8	3,2	84,9	197	43,1
F	33,3	5,6	2,0	0,8	3,0	44,7	175	25,5
H-Ah	8,5	2,0	0,7	0,5	1,4	13,1	73	18,0
Ae	1,5	0,5	0,1	0,1	0,2	2,4	14	17,1
Bfh	1,3	0,3	0,1	0,1	0,2	2,0	30	6,7
BC	0,7	0,2	0,1	0,1	0,1	1,2	27	4,4

* Approximatif

(21 L/12 S.O.) établie par le Ministère des Terres et Forêts de la Province de Québec. La végétation du sous-bois était composée de sureau (*Sambucus canadense*), d'érable de Pennsylvanie (*Acer pennsylvanicum*), d'if du Canada (*Taxus canadense*), de Lycopode luisant (*Lycopodium lucidulum*), de Lycopode obscur (*Lycopodium obscurum*), de fougère (*Dryopteris spinulosa*), de noisetier (*Corylus cornuta*) et de viorne à feuilles d'aulne (*Viburum alnifolium*).

Le sol, un podzol humo-ferrique orthique, est dérivé d'une terrasse alluviale sableuse, homogène et sans pente. La couverture morte est de type moder. La séquence des horizons (L, F, H-Ah, Ae, Bfh et BC) était régulière dans toute l'aire expérimentale. Ce sol entre dans la zone An+S (complexe renfermant un mélange de sable loameux, série St-Antoine et du sable, série Sorel) de la carte pédologique au 1/63 360 de Lotbinière (R. Baril et B. Rochefort, 1957). Les analyses physiques et chimiques de ce sol sont groupées dans le tableau 1.

Le dispositif expérimental comprend 5 traitements: urée (U), urée-formaldéhyde (UF), nitrate d'ammonium (NA), sulfate d'ammonium (SA), et le témoin (T), en 4 répétitions, soit un total de 20 parcelles. Les parcelles ont une superficie de 100 m² et les engrais sont appliqués à la main, au taux de 300 kg N/ha, ce qui correspond par parcelle à:

6,5 kg d'urée à 46 % de N;
7,9 kg d'urée-formaldéhyde à 38 % de N;
8,8 kg de nitrate d'ammonium à 34 % de N;
15,0 kg de sulfate d'ammonium à 20 % de N.

La fertilisation azotée n'apporte que le 1/10 de la quantité totale de N présente dans la couverture morte (L, F, H) mais multiplie par 5 sa teneur en $N\text{-}NH_4^+$ dans le cas de U, UF et SA et par 16 sa teneur en $N\text{-}NO_3^-$ dans le cas de NA. D'autre part, dans la couche organique, pour une capacité d'échange totale de 100 équivalents il y a 29,1 équivalents de cations échangeables dont 1,7 d'ions NH_4^+; la fertilisation avec U, UF et SA apporte un supplément de 8,7 équivalents d'ions NH_4^+ (celle avec NA un supplément de 4,3), soit à peu près le 1/10 de la capacité totale d'échange de la couche

organique en termes d'ions NH_4^+ (Tableau 1). On ne peut donc envisager aucun phénomène de saturation.

Les engrais ont été appliqués le 1er août 1973 et l'échantillonnage des parcelles a été réalisée 2 jours avant fertilisation, puis 9, 23, 50, 99 jours et un an après fertilisation. Chaque échantillon composite était formé de cinq prélèvements par horizon. Dans chaque échantillon nous avons dosé l'azote total N_t, ammoniacal $N\text{-}NH_4^+$, et nitrique $N\text{-}NO_3^-$ (Bremmer et Shaw, 1958), et évalué les pourcentages d'humidité et de matière organique par perte ou feu. Les résultats ont été donc rapportés au poids anhydre. À chaque échantillonnage, nous avons comparé les teneurs en N_t, $N\text{-}NH_4^+$ et $N\text{-}NO_3^-$ de chacun des horizons des parcelles en utilisant le test de Duncan (tableaux 2, 3 et 4).

Pendant les 99 premiers jours de l'expérience nous avons évalué la quantité d'eau tombée sous le couvert forestier au moyen de trois pluviomètres. (Au bout de 9, 23, 50 et 99 jours il est tombé respectivement 32, 86, 242 et 383 mm de pluie). La neige a commencé à tomber le 100e jour suivant la fertilisation. Dans l'ensemble, la quantité d'eau tombée a été proportionnelle au temps écoulé après fertilisation.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Azote total

L'analyse statistique de la teneur en N_t des parcelles avant fertilisation n'a révélé aucune différence significative et ce, quel que soit l'horizon considéré.

1. Action de l'urée, du sulfate et du nitrate d'ammonium

Au premier échantillonnage (9 j), les teneurs en N_t de l'horizon L des parcelles fertilisées avec U, SA et NA étaient significativement différentes de celle du témoin, mais ne l'étaient pas entre elles. Au deuxième échantillonnage (23 j), seule la parcelle fertilisée avec U avait une teneur en N_t significativement différente de celle du témoin.

Si l'on évalue à 320 kg le poids de L par parcelle, il ne reste dans cet horizon, après 9 jours, que 30, 24 et 20 % de l'azote de U, NA et SA respectivement et, au bout de 23 jours, 18 % d'U, 10 % de SA et 4 % de NA.

Dans les horizons F, H, Ae, Bfh et BC, la fertilisation avec U, NA et SA n'a entraîné aucune augmentation de la teneur en N_t, et ce, tout au long de l'expérience. Ceci s'explique certainement par le fait que la quantité de N ajoutée est faible par rapport à la teneur initiale en N du sol, ce qui entraîne des variations non significatives.

2. Action de l'urée-formaldéhyde

Dans l'horizon L, la teneur en N_t des parcelles fertilisées avec UF reste, tout au long de l'expérience, significativement différente par rapport à celle du témoin et des autres traitements. Au bout de 9 jours, il reste 62 % d'UF non dissoute et 50 % au bout de 23 jours. Ces chiffres sont néanmoins plus faibles qu'en réalité, car on a perdu des particules d'engrais non dissoutes lors de l'échantillonnage.

Dans l'horizon F, l'augmentation de la teneur en N_t devient significative à partir du troisième échantillonnage (50 j). Ceci s'explique par l'infiltration mécanique des particules d'UF non dissoutes à travers l'horizon L. Au bout d'un an, la teneur en N_t de l'horizon F (qui inclut l'horizon L de l'année précédente) est de 2,6 % contre 2,3 % au témoin. Si l'on évalue le poids de F à 880 kg par parcelle, cette différence correspond à 2,38 kg de N, soit 79 % de l'engrais ajouté.

Une expérience *in vitro* a montré que UF se solubilise instantanément à 25 % par simple contact avec l'eau puis reste pratiquement insoluble. En agitant les particules restantes avec de l'eau pendant une semaine, on arrive à en solubiliser encore 5 %. L'analyse des particules restantes dans l'horizon F au bout d'un an montre qu'il s'agit toujours d'engrais non solubilisé titrant toujours 37 % de N, et non d'un résidu de solubilisation.

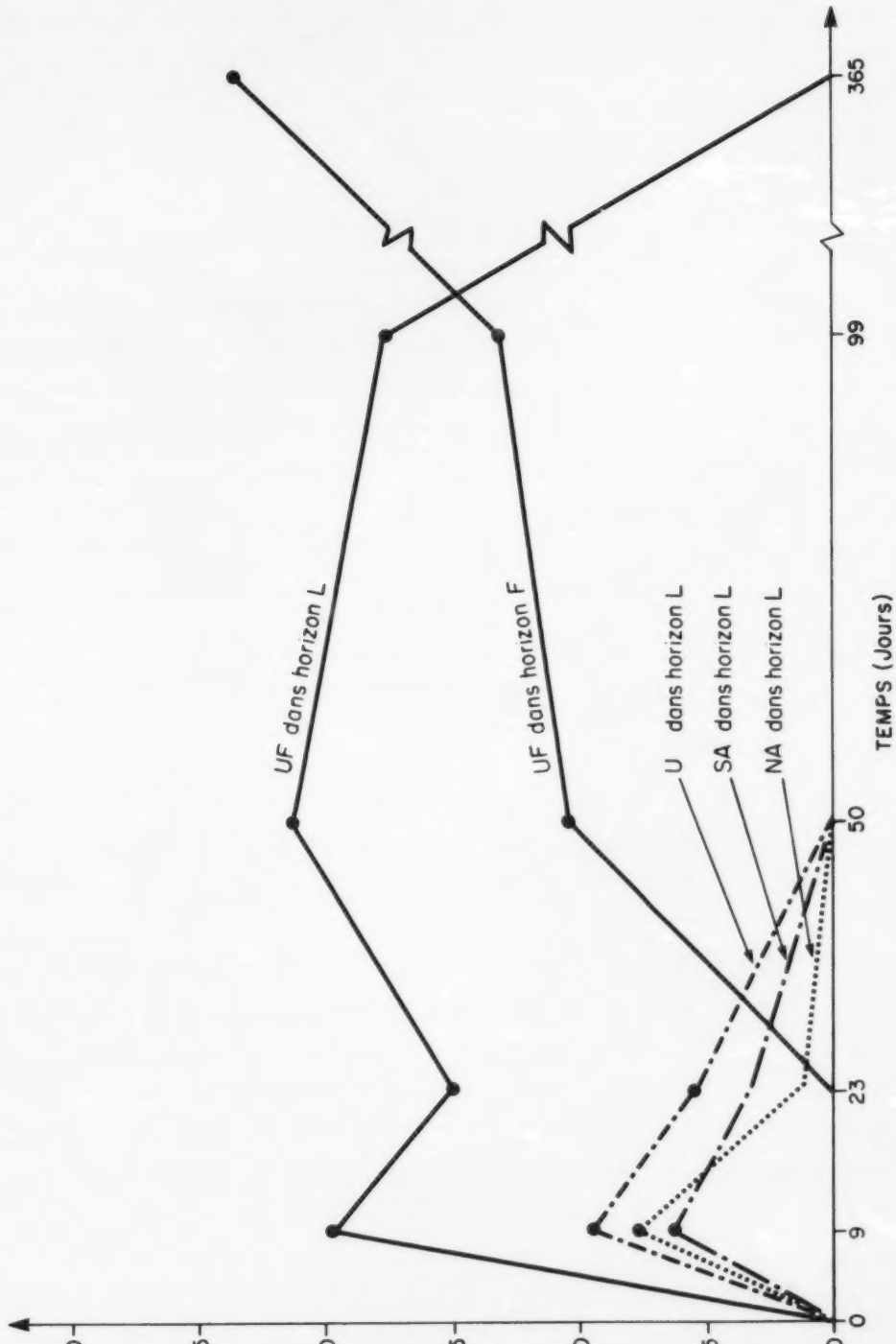

Figure 1. Variations avec le temps de N_t apporté par les divers engrais dans les horizons L et F.

La figure 1 représente les variations de la teneur moyenne en N_t des parcelles fertilisées après soustraction de la teneur moyenne en N_t des parcelles témoins, dans les horizons L et F. Les résultats des tests de Duncan sont fournis ci-dessous (Tableau 2).

Tableau 2. Teneurs moyennes de N_t (%) des horizons L et F des parcelles, avant et après fertilisation avec les divers engrais

	Avant fertilisation	Période ou temps après fertilisation				
		9 j	23 j	50 j	99 j	1 an
L	NA 1,85	T 1,98	T 2,03	NA 2,11	NA 2,12	NA 1,96
	U 1,86	SA 2,18	NA 2,07	U 2,11	T 2,15	U 1,96
	SA 1,86	NA 2,22	SA 2,13	T 2,12	SA 2,15	T 1,98
	T 1,88	U* 2,28	U 2,20	SA 2,16	U 2,20	UF 1,98
	UF 1,95	UF* 2,60	UF* 2,50	UF* 2,79	UF* 2,71	SA 2,03
F	SA 2,14	T 2,32	SA 2,22	NA 2,21	U 2,27	SA 2,28
	U 2,18	SA 2,35	T 2,23	SA 2,28	NA 2,28	U 2,30
	T 2,21	U 2,37	U 2,26	U 2,30	SA 2,33	NA 2,31
	NA 2,21	UF 2,39	NA 2,29	T 2,30	T 2,35	T 2,36
	UF 2,25	NA 2,40	UF 2,31	UF* 2,42	UF 2,50	UF* 2,63

* Significatif à 99 % par rapport au témoin.

[Deux moyennes qui ne sont pas reliées par le même trait sont significativement différentes (95 %)].

Azote ammoniacal

L'analyse statistique de la teneur en $N\text{-}NH_4^+$ des parcelles avant fertilisation n'a révélé aucune différence significative et ce, quel que soit l'horizon considéré.

1. Action de l'urée, du sulfate et du nitrate d'ammonium

Au premier prélèvement (9 j) ces trois engrais provoquent des augmentations significatives par rapport au témoin de la teneur en $N\text{-}NH_4^+$ de tous les horizons à l'exception de U dans l'horizon H. Toutefois, ces traitements ne sont pas significatifs entre eux à l'exception de U qui domine dans L et de SA qui domine dans Bh.

Au deuxième prélèvement (23 j), seule U provoque encore une augmentation significative par rapport au témoin dans tous les horizons et domine significativement par rapport aux autres traitements dans l'horizon L. SA a une action significative par rapport au témoin dans les horizons L, Ae et BC, et NA seulement dans L.

Au troisième prélèvement (50 j), seuls U dans l'horizon Ae et SA dans les horizons Ae et Bh ont encore une action légèrement significative par rapport au témoin. Par la suite (99 j et 1 an) aucun traitement n'a provoqué une différence significative par rapport au témoin, et cela quel que soit l'horizon.

2. Action de l'urée-formaldéhyde

Quels que soient la date de prélèvement et l'horizon, UF n'a entraîné aucune augmentation significative de la teneur en $N\text{-}NH_4^+$, même si au 9^e jour, la teneur moyenne en $N\text{-}NH_4^+$ dans l'horizon L des parcelles fertilisées avec UF est le double de celle des parcelles témoins. Si l'on ne tient compte que des différences significatives par rapport au témoin, il reste dans la couche organique; 1) au bout de 9 jours, la même quantité, soit 48 %, (mais avec une répartition différente dans L, F et H) de $N\text{-}NH_4^+$ provenant de U et SA (3 kg), et 83 % de $N\text{-}NH_4^+$ apporté par NA (1,5 kg); 2) au bout de 23 jours, 22 % par U, 5 % par SA et 8 % par NA; 3) au bout de 50 jours plus rien.

Il reste dans la couche minérale, 1) au bout de 9 jours, 20 % de $N\text{-}NH_4^+$ apporté par U, 30 % par SA et 44 % par NA; 2) au bout de 23 jours, 11 % par U, 9 % par SA et 0 % par NA; 3) au bout de 50 jours, 1 % par U, 2 % par SA et 0 % par NA.

La figure 2 représente les variations de la teneur moyenne en $N\text{-}NH_4^+$ des parcelles fertilisées après soustraction de la teneur moyenne en $N\text{-}NH_4^+$ des parcelles témoins, aux trois premiers prélèvements. Les résultats des tests de Duncan sont fournis dans le tableau 3.

Les pourcentages obtenus pour NA doivent être lus avec réserve. Il est en effet difficile de comparer le NA avec les autres engrais car pour un poids identique de N total il apporte la moitié d'ions NH_4^+.

Comme la capacité d'échange était, dans le cas de notre sol, reliée presque uniquement au pourcentage de matière organique (M.O.) et que $N\text{-}NH_4^+$ était en conséquence principalement fixé par cette M.O., nous avons transformé les pourcentages de $N\text{-}NH_4^+$ par rapport au sol sec en pourcentage de $N\text{-}NH_4^+$ par rapport à la M.O., afin de réduire les variations dues à l'échantillonnage. Nous avons soumis au test de Duncan tous les résultats ainsi transformés sans toutefois que les différences soient significatives. C'est pourquoi les résultats ainsi trouvés n'ont pas été inclus dans cette publication.

Azote nitrique

L'analyse statistique de la teneur en $N\text{-}NO_3^-$ des parcelles avant fertilisation n'a révélé aucune différence significative et ce, quel que soit l'horizon considéré.

1. Action du nitrate d'ammonium

Les ions NO_3^- provenant de NA atteignent une teneur maximale significative par rapport aux autres traitements, dans tous les horizons, 9 jours après fertilisation. Cette teneur reste significative par rapport aux

Tableau 3. Teneurs moyennes de $N\text{-}NH_4^+$ (ppm) des six horizons des parcelles, avant et après fertilisation avec les divers engrais

	Avant fertilisation	Période ou temps après fertilisation			
		9 j	23 j	50 j	99 j
L	NA 550	T 530	T 412	NA 550	
	UF 558	UF 1075	UF 628	SA 560	
	T 560	SA* 2300	NA 800	T 562	
	U 570	NA* 2465	SA 838	UF 562	
	SA 570	U* 3182	U* 1450	U 640	
F	NA 470	T 515	T 282	NA 332	
	U 490	UF 650	UF 350	T 335	
	T 530	NA 1148	SA 368	UF 340	
	SA 542	U* 1188	NA 520	U 390	
	UF 555	SA* 1450	U 620	SA 398	
H	SA 212	T 142	UF 118	NA 95	NA 102
	NA 225	UF 172	T 132	U 118	U 110
	T 262	U 210	NA 160	UF 118	UF 110
	U 268	SA 280	SA 160	T 128	T 122
	UF 278	NA 298	U 220	SA 145	SA 132
Ae	SA 27	T 42	T 25	T 25	UF 17
	T 31	UF 43	UF 26	NA 26	T 18
	U 34	NA* 91	NA 36	UF 27	SA 21
	NA 36	U* 108	SA 43	SA 37	NA 25
	UF 37	SA* 116	U* 52	U* 42	U 28
Bfh	NA 26	T 33	UF 31	UF 20	UF 48
	UF 27	UF 46	T 34	T 24	T 55
	SA 30	NA* 84	NA 46	NA 29	NA 69
	T 30	U* 30	SA 52	U 32	SA 74
	U 37	SA* 123	U 57	SA 40	U 76
BC	NA 19	T 32	T 20	UF 18	U 20
	SA 20	UF 49	UF 23	T 24	UF 25
	UF 21	U 59	NA 25	NA 24	T 26
	U 24	NA* 70	U 39	U 33	NA 27
	T 24	SA* 75	SA* 42	SA 34	SA 30

* Significatif à 99 % par rapport au témoin.

[Deux moyennes qui ne sont pas reliées par le même trait sont significativement différentes (95 %)].

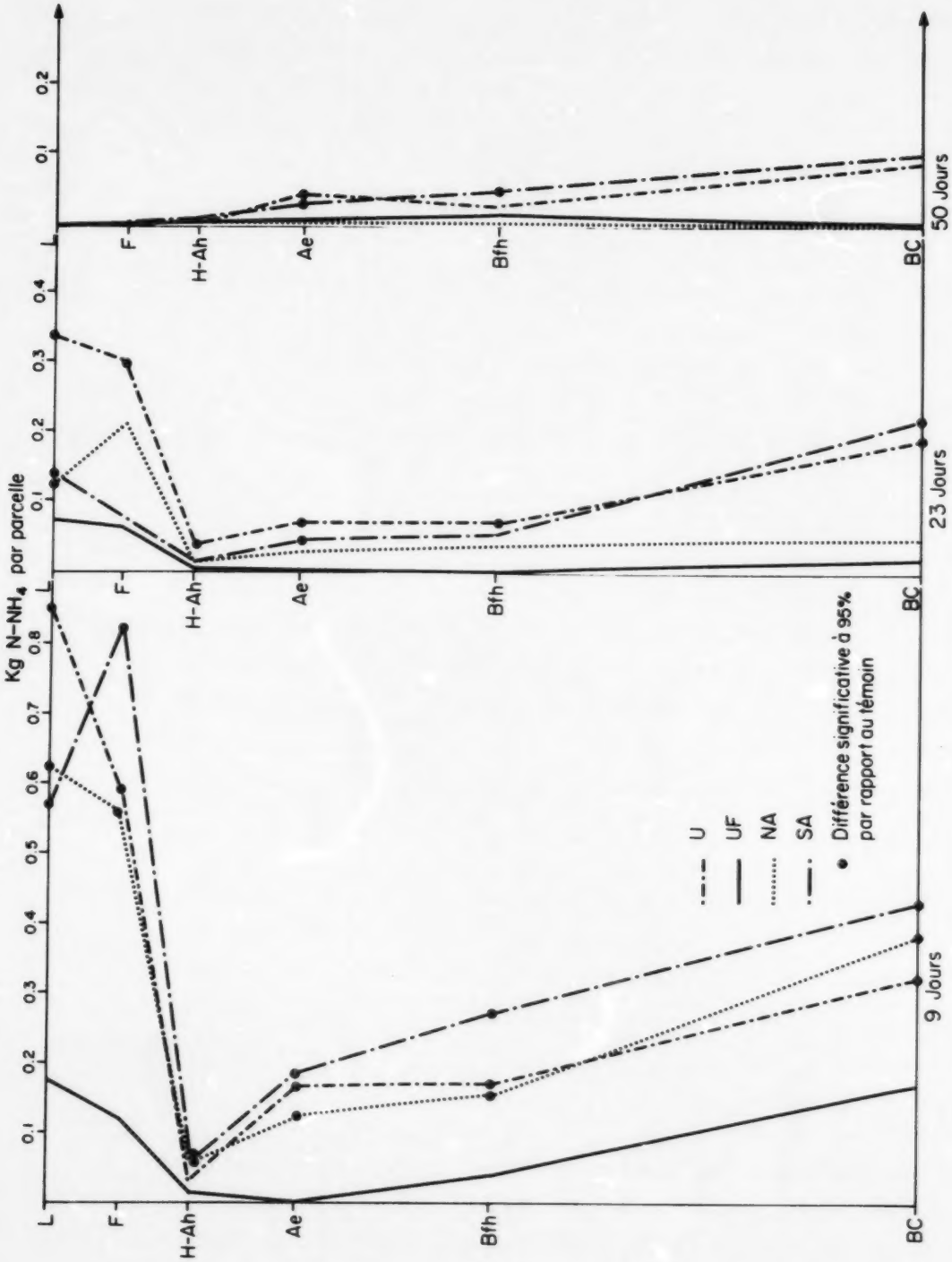

Figure 2. Variations avec le temps de $N\text{-}NH_4^+$ apporté par les divers engrais au sein du profil.

témoins 23 jours après dans tous les horizons et 50 jours après dans les horizons F, Bfh et BC.

Au bout de 9 jours, il reste dans la couche organique 39 % de $N\text{-}NO_3^-$, apporté par NA, 10 % au bout de 23 jours et 2 % au bout de 50 jours. La répartition de $N\text{-}NO_3^-$, apporté par NA aux trois premiers prélèvements, est présentée à la figure 3. Les résultats des tests de Duncan sont fournis dans le tableau 4.

2. Action des autres engrais

On a constaté une nitrification de N apporté par U dans les horizons L et F, 23 jours après fertilisation et dans les horizons F et H 50 jours après fertilisation.

Tableau 4. Teneurs moyennes de $N\text{-}NO_3^-$ (ppm) des six horizons des parcelles, avant et après fertilisation avec les divers engrais

	Avant fertilisation	Période ou temps après fertilisation			
		9 j	23 j	50 j	99 j
L	T 58	SA 65	T 47	UF 50	
	SA 65	T 66	SA 63	NA 55	
	NA 67	U 67	UF 64	U 61	
	UF 68	UF 79	U* 120	SA 65	
	U 72	NA* 507	NA* 131	T 68	
F	UF 51	T 64	UF 40	T 39	NA 51
	T 58	UF 72	T 42	UF 48	U 51
	SA 59	SA 77	SA 49	SA 63	T 59
	U 67	U 94	U* 103	NA 69	UF 61
	NA 69	NA* 509	NA* 165	U* 81	SA 61
H	SA 49	SA 30	UF 48	T 31	T 35
	UF 53	T 35	T 51	UF 35	SA 38
	T 54	UF 48	SA 67	SA 43	UF 38
	U 65	U 58	U 87	NA 46	NA 43
	NA 71	NA* 187	NA 105	U 51	U 46
Ae	T 11	T 16	UF 21	UF 13	
	U 15	SA 17	T 24	T 18	
	NA 16	U 20	SA 25	SA 18	
	SA 16	UF 21	U 29	U 20	
	UF 21	NA* 45	NA 36	NA 20	
Bfh	UF 11	UF 11	T 16	SA 11	NA 19
	SA 12	SA 7	SA 22	T 12	SA 19
	T 15	T 7	U 23	U 16	UF 21
	NA 15	U 10	UF 24	UF 17	T 24
	U 18	NA* 88	NA* 55	NA* 20	U 30
BC	SA 10	UF 13	T 12	UF 10	T 13
	NA 12	T 14	UF 12	T 13	UF 14
	UF 14	U 15	U 15	SA 13	U 19
	U 15	SA 18	SA 15	U 17	NA 20
	T 17	NA* 81	NA* 39	NA 23	SA 20

* Significatif à 99 % par rapport au témoin.

[Deux moyennes qui ne sont pas reliées par le même trait sont significativement différentes].

Figure 3. Variations avec le temps de $N\text{-}NO_3^-$ apporté par NA au sein du profil.

CONCLUSION

Il faut surtout noter la fugacité de la fertilisation azotée. En termes d'azote total, la fertilisation avec U, SA et NA n'affecte que l'horizon L du sol et son effet n'est décelable au plus que pendant les 3 semaines qui suivent la fertilisation. Par contre, dans ce même horizon, la teneur en N_t des parcelles fertilisées avec UF reste élevée tout au long de l'expérience. La précipitation enregistrée au cours de ces 3 semaines a été de 100 mm.

Les taux maxima de $N\text{-}NH_4^+$ pour chacun des engrais et chacun des horizons sont obtenus 9 jours après fertilisation avec seulement 30 mm de pluie. Le sulphate d'ammonium et le nitrate d'ammonium qui libèrent les ions NH_4^+ par simple solubilisation sont évidemment les plus mobiles. Par contre, l'urée qui doit subir une transformation avant de libérer ses ions NH_4^+ a une action un peu retardée et constitue notre choix en vue de la fertilisation du site. L'urée-formaldéhyde libère des ions NH_4^+ en moins grande quantité que les engrais précédents mais tout aussi rapidement. Même si après trois semaines la teneur en N_t de l'horizon L reste élevée, on ne constate plus de libération d'ions NH_4^+.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier MM. R. Turcotte et M. Gauthier de leur collaboration technique et M. A. Lauzé pour les facilités offertes lors de l'établissement du dispositif expérimental.

Nos sincères remerciements aussi à l'égard de M. M. Roberge et, très particulièrement, de M. B. Bernier pour les commentaires et corrections apportés à ce manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

Allen, S.E.; Mays, D.A.; Terman, G.L. 1968. Sulfur-coated urea: an effective slow-release nitrogen fertilizer. Crops Soils 21:13-15.

Attoe, O.J.; Rasson, F.L.; Boyle, J.R. 1970. Fertilizer release from packets and its effect on tree growth. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 137-142.

Baril, R.; Rochefort, B. 1957. Étude pédologique du Comté de Lotbinière. P.Q. Serv. Ferm. Exp. Ottawa.

Bremmer, J.M.; Shaw, K. 1958. Denitrification in soil I. Methods of investigation. J. Agri. Sci. 51:22.

Carmean, W.H.; Watt, R.F. 1975. Response of a pole-size maple stand to fertilization. Pages 417-433 *in* B. Bernier and C.H. Winget, eds. Forest Soils and Forest Land Management. Proc. Fourth N.A. Forest Soils Conf., Les Presses Univ. Laval. p.

Cole, D.; Gessel, S. 1965. Movement of elements through a forest soil as influenced by the tree removal and fertilizers additions. Pages 95-104 C. Youngberg ed. Forest-Soil Relationship in North America, Oregon State University Press.

Danes, A.E.; Roos, O. 1973. Effects of fertilizer application in a sugar maple grove. Ontario Ministry of Natural Resources. Forest Management Branch.

De Ment, J.D.; Hunt, C.M.; Stanford, G. 1961. Hydrolysis, nitrification and nitrogen availability of examide as influenced by granule size. J. Agric. Fd Chem. 9:453-456.

Ellis, R.C.; Althen, F.W. 1973. Fertilization of adult and juvenile hardwoods in Ontario. Pages 174-187 *in* Forest Fertilization, Symp. Proc. - USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-3.

Fiedler, F.J.; Weetman, G.F. 1971. Losses of nitrogen from surface applied urea and other factors of season of fertilizer application on growth response. Paper prepared for Forest Fertilization Working Group, Section 21, I.V.F.R.O., University of Florida, 25 p.

Gasser, J.K. 1964. Some factors affecting losses of ammonia from urea and ammonium sulphate applied to soils. J. Soil Sci. 15:258-272.

Hauck, R.D. 1968. Nitrogen Source requirements in different soil - Plant systems. Pages 47-57 *in* Forest Fertilization, Theory and Practice, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama.

Mader, D.L.; Thompson, B.W. 1969. Foliar and Soil nutrients in relation to sugar maple decline. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:794-800.

Mitchell, H.L.; Chandler, R.F. 1939. The nitrogen nutrition and growth of certain deciduous trees of northeastern United States. Black Rock Forest Bull. 11.

Overrein, L.N. 1969. Lysimeter studies on tracer nitrogen in forest soil: II. comparative losses of nitrogen through leaching and volatilization after the addition of urea-, ammonium - and nitrate - N^{15}. Soil Sci. 107:149-159.

Rowe, J.S. 1972. Forest Regions of Canada. Dep. Env. CFS. Public. N° 1300.

Safford, L.O. 1973. Fertilization increases diameter growth of birch-beech-maple trees in New Hampshire. USDA For. Serv. Res. Note NE-182.

Scott, A.; Chamberland, E. 1963. Essai de fertilisation des érables à sucre. Rev. Coop. Agron. Qué. Agriculture 20:88-91.

Stone, D.M.; Christenson, D.R. 1974. Fertilizing and thinning maple poles: preliminary results. USDA For. Serv. Res. Note NC-158.